

Approved For Release STAT  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120

Dec

Approved For Release  
2009/08/19 :  
CIA-RDP88-00904R000100120



Вторая Международная конференция  
Организации Объединенных Наций  
по применению атомной энергии  
в мирных целях

A/CONF/15/P/2218  
URSS  
ORIGINAL:RUSSIAN

Не подлежит оглашению до официального сообщения на Конференции

Н.Г.Богданова, П.Л.Грузин, Г.И.Ермолаев,  
П.Д.Никулинский

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

На Кузнецком металлургическом комбинате, начиная с 1950 г., радиоактивные изотопы используются для изучения и контроля ряда процессов. В настоящем докладе приводятся основные результаты только по исследованию процесса выплавки стали в зависимости от различных факторов.

Скорость и характер движения металла оказывают существенное влияние на ход процесса плавки и распределение элементов. В результате перемешивания металла происходит выравнивание температуры и химического состава в ванне сталеплавильной печи, облегчается дегазация и удаление неметаллических включений. С движением металла в определенной степени связано протекание физико-химических процессов в жидкой ванне. Таким образом, перемешиванием металла определяются наиболее характерные особенности процесса плавки, а следовательно, качество металла. Знание закономерностей процессов перемешивания позволяет выбирать оптимальные условия ведения плавки и повышать качество металла. Изучение процессов перемешивания мартеновской ванны до последнего времени не проводилось. В 1953-1957 гг. методом радиоактивных индикаторов, на Кузнецком металлургическом комбинате изучалось движение металла в ванне мартеновских печей. Главной особенностью этого метода является высокая чувствительность и возможность получить количественные характеристики процесса движения металла.

25 YEAR RE-REVIEW

- 2 -

Перемешивание металла в горизонтальном направлении ванны 25-, 190- и 390-тонных основных мартеновских печах и 22-тонной кислой печи изучалось в различные периоды плавки при обычной технологии и при искусственном перемешивании жидкой ванны. С целью определения времени выдержки металла в печи с феррохромом были поставлены опыты по определению скорости растворения феррохрома и степени равномерности распределения хрома в металле. Исследовалось движение металла в сталеразливочных ковшах в процессе выпуска из одно- и двухжелобных печей, а также при раскислении и легировании стали в ковше ферросплавами.

### 1. Методика исследования

В исследованиях применялись радиоактивные изотопы: фосфор - 32, иридий - I92, железо - 59, хром - 51, кобальт - 60. Сущность метода заключалась в том, что в расплавленную сталь в незначительных количествах вводили радиоактивные изотопы. Затем из различных точек ванны, а также от нескольких слитков на разливке и от готового проката опытных слитков отбирали пробы металла для измерений радиоактивности. По результатам радиометрических измерений проб металла определяли время, необходимое для равномерного распределения элементов и устанавливали характер движения жидкого металла.

04-1802

Пробы металла заливали в специальные изложницы (рис. 1). Применение изложниц такой формы позволяет повысить чувствительность метода и существенно снизить концентрацию радиоактивных изотопов в металле. Последнее имеет большое значение с точки зрения техники безопасности при проведении экспериментов в печах большого объема. Удельный расход изотопов составлял: фосфора - 32 - 0,01 мкюри/т, хрома - 51 и иридия - I92 - 1 мкюри/т, железа - 59 и кобальта - 60 - 0,02 мкюри/т. В образцах полукруглой формы весом 1000 кг после соответствующей обработки до стандартных размеров измеряли радиоактивность на радиометрической установке со счетчиком гамма-излучения типа МС-9. Для соблюдения стандартных условий измерения образцы вставлялись в алюминиевую подставку, закрепленную в защитном домике. Расстояние между пробой и стенками трубки составляло 12 мм. Суммарная относительная ошибка определения концентрации изотопа составляла величину порядка 5%.

При изучении перемешивания металла в сталеплавильной печи индикатор вводился на дно жидкой ванны в специальной металличе-

- 3 -

ской ампуле, через среднее или одно из крайних завалочных окон печи. Затем через определенные промежутки времени (2-10 минут) одновременно через все окна печи на одном уровне ванны отбирались пробы металла.

Для изучения процесса растворения легирующих добавок готовили радиоактивные опытные куски феррохрома. С этой целью в центре куска феррохрома высверливали отверстие. Изотоп, упакованный в металлическую ампулу, помещали внутрь куска феррохрома. Отверстие затем плотно забивалось стальной пробкой. Диаметр ампулы - 10-15 мм, высота - 10-20 мм, толщина стенок - 1-2 мм. Приготовленный таким путем радиоактивный кусок феррохрома вводился в мартеновскую ванну в период раскисления. "Меченый" кусок феррохрома укладывался в мульдугу так, чтобы при завалке в печь он оказывался бы внизу. В некоторых опытах радиоактивный кусок феррохрома вводился в ванну через 10-15 минут, после дачи всего необходимого для легирования количества феррохрома. Для установления времени растворения феррохрома в месте ввода опытного куска в течение 20 минут через каждые 2-3 минуты отбирали пробы металла. Появление радиоактивности в пробе металла свидетельствует о растворении опытного куска феррохрома. Для определения степени равномерности распределения хрома в ванне перед выпуском плавки пробы металла отбирали одновременно через все окна. Одинаковые радиоактивности проб свидетельствовали о равномерном распределении. Опыты проводили в 25- и 190-тонных основных мартеновских печах при выплавке низкохромистых и высокохромистых марок сталей.

При изучении перемешивания металла в процессе выпуска и раскисления стали ферросилицием в сталеразливочных ковшах опыты проводили следующим образом. Упакованный в куске алюминия радиоактивный изотоп вводился в ковш во время его наполнения. Затем по ходу разливки отбирали пробы металла. По изменению радиоактивности проб можно судить об интенсивности перемешивания металла и о степени однородности химического состава разливаемой стали.

Для изучения растворения и распределения ферромарганца в ковшах готовили опытные радиоактивные куски ферромарганца. С этой целью расплавленный в лабораторной индукционной печи ферромарганец выливался в специальную чугунную форму размерами 100x100x100 мм. В расплав вводили герметически закрытые ампулы с радиоактивным индикатором (фосфор - 32, хром - 51). Куски ферро-

2681-40

- 4 -

марганца вводили в ковш различными способами: по одному куску на дно при заполнении ковша на  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $2/3$  высоты, под шлак; по несколько кусков в одно место или в различные места по высоте ковша.

Для изучения растворения и распределения феррохрома в кавшах в куске феррохрома весом 3-10 кг высверливали отверстие диаметром 14 мм на глубину 30-70 мм. В отверстие закладывали радиоактивный изотоп в закрытой металлической ампуле. Отверстие плотно закрывали стальной пробкой. Такие куски вводили в ковш в количестве от одного до пяти одновременно или с некоторым интервалом на различных стадиях заполнения ковша металлом.

Следует отметить, что металл спытных плавов имел весьма низкую радиоактивность. Повышенную радиоактивность имели лишь пробы металла, отобранные сразу после введения изотопов из тех точек ванны, куда вводился индикатор.

## 2. Результаты и обсуждение

### а) Перемешивание металла в основных мартеновских печах

В 25-, 190- и 390-тонных печах проведено 5 опытов. Радиоактивные индикаторы вводились в ванну к моменту расплавления. По данным этого исследования, в 25-тонной печи полное выравнивание состава металла в период дефосфорации достигается через 10-15 минут, а в 190- и 390-тонных печах - через 30-35 минут. Кроме того проведено шесть опытов по изучению перемешивания в период наводки шлака. Радиоактивный изотоп вводили в ванну после частичной наводки шлака либо после дачи всего количества извести и боксита. Выяснено, что в течение 20-35 минут периода наводки шлака как в 25-, так и в 190- и 390-тонных печах перемешивание не достигается. Колебания значений радиоактивности проб, взятых перед началом чистого кипения, весьма значительны.

Для получения данных, характеризующих интенсивность перемешивания металла в период чистого кипения в 25-тонной ванне, проведено 5 опытов. В первом опыте изотоп вводился в ванну печи через среднее окно в начале чистого кипения. Через 7, 14, 24, 34 и 44 минуты одновременно через все три окна печи были отобраны пробы. Первая серия проб, отобранных через все три окна, характеризуется большими колебаниями радиоактивности. В пробах последующих серий разброс значений радиоактивности не выходит за пределы ошибок измерения, что свидетельствует о выравнивании состава жидкой ванны через 14 минут. В следующем опыте индикатор вводился через первое

- 5 -

2681-40

окно в начале чистого кипения. Равномерное распределение индикатора по всему объему ванны наступило через 12 минут. Три следующих опыта проведены с введением изотопов в крайнее окно печи в период чистого кипения за 15-20 минут до начала раскисления. При этом распределение индикатора или перемешивание ванны достигалось в течение 8-12 минут. В 190-тонных печах проведено 6 опытов, в 390-тонных - 8 опытов. Изотопы вводились через крайнее и среднее окно в различные моменты периода чистого кипения. При введении индикатора в начале чистого кипения перемешивание металла в 190- и 390-тонных печах достигается в течение 20-45 минут. При введении индикатора через 20-30 минут от начала чистого кипения равномерное распределение изотопа достигается через 20-30 минут. Таким образом, время достижения однородного состава стали несколько уменьшается во второй половине периода чистого кипения. Указанное явление может быть результатом увеличения жидкоподвижности металла в конце периода чистого кипения, обусловленного повышением температуры металла и уменьшением вязкости. Время выдавливания состава металла в 190- и 390-тонных печах примерно одинаково и для 190-тонных печей составляет 20-45 минут, для 390-тонных - 30-45 минут. К моменту раскисления во всех случаях металл достаточно хорошо перемешивается.

На рис. 2 представлены результаты исследования отдельных опытных плавок. Пробы первых серий, взятые через различные окна, характеризуются значительным колебанием значений радиоактивности. Затем происходит постепенное уменьшение разницы радиоактивности между отдельными пробами с последующим достижением постоянства, что свидетельствует о равномерном распределении изотопа во всем объеме ванны. Исходя из полученных данных, длительность периода чистого кипения для 190- и 390-тонных печей может быть ограничена 45 минутами. С сокращенным периодом чистого кипения продолжительностью 30-55 минут выплавлено 120 опытных плавок рельсовых и качественных марок сталей. Выплавка проводилась при повышенном тепловом режиме. В результате была установлена оптимальная продолжительность чистого кипения. При продолжительности чистого кипения 40 минут металл к началу раскисления достаточно нагрет и перемешан. Конечный металл характеризуется вполне удовлетворительными механическими свойствами и микроструктурой.

Для изучения перемешивания металла в период раскисления 25-тонной ванны проведено 10 опытов. Индикатор вводили через

- 6 -

2-6 минут после полного или частичного раскисления стали. При выплавке рядовых углеродистых марок выравнивание состава достигается в течение 7-12 минут. После раскисления легированной стали равномерное распределение индикатора достигается в течение 10-30 минут. В 190-тонных печах проведено 16 опытов с введением индикатора в различное время периода раскисления при выплавке качественных и легированных хромом сталей. В двух опытах после раскисления сталей марок С-60 и осевой перемешивание было достигнуто в течение 9-30 минут. В трех опытных плавках хромистой стали индикатор вводился через 2-10 минут после раскисления перед введением или до растворения феррохрома. Перемешивание в этом случае наступало в течение 35-60 минут. При введении радиоактивного индикатора после растворения феррохрома в течение 15-35 минут выравнивания состава металла в печи не достигалось.

В 390-тонных печах проведено 6 опытных плавов. Изотопы вводили в различное время после раскисления стали. Время выравнивания состава 15-18 минут и лишь в одном случае 37 минут. Таким образом, минимальное время достижения равномерного распределения элементов в большегрузных печах при выплавке углеродистых марок сталей составляет 10-20 минут. При выплавке хромистых сталей выравнивания состава в печи не достигается. Из экспериментальных данных следует, что во внешне спокойной раскисленной кремнием ванне, несмотря на отсутствие кипения, имеет место движение металла, в ряде случаев более интенсивное, чем в период чистого кипения. Время перемешивания в отдельных случаях в 190-тонных печах составляло всего лишь 10 минут, что не наблюдалось в период чистого кипения. С другой стороны, следует отметить, что после растворения феррохрома наблюдается значительное замедление перемешивания, что может быть результатом повышения вязкости металла за счет хрома и понижения температуры стали.

#### б) Движение металла при искусственном перемешивании жидкой ванны

С помощью радиоактивных изотопов показано значительное повышение циркуляции жидкого металла и ускорение выравнивания состава ванны при вдувании воздуха или применении стальной мешалки. В одном из опытов вдувание воздуха фактически производилось до введения индикатора, в период наводки шлака, и только в течение 4 минут воздух вдувался после введения индикатора в начале чистого кипения.

- 7 -

Перемешивание наступило через 16 минут, т.е. время выравнивания состава при искусственном перемешивании сжатым воздухом сокращается примерно на 30 минут по сравнению с обычной технологией. Значительное ускорение перемешивания металла наблюдается также при использовании стальной мешалки. При пятиминутном перемешивании ванны стальной двухлопастной мешалкой после введения радиоактивного индикатора процесс выравнивания состава 390-тонной ванны длился всего лишь 20 минут.

#### в) Анализ движения металла в жидкой ванне

Анализ экспериментальных данных исследования процесса перемешивания металла в мартеновских печах в различные периоды плавки позволяет выявить ряд особенностей. Во-первых, обычная диффузия элементов не может заметно повлиять на процесс выравнивания состава ванны, так как этот процесс молекулярной диффузии является относительно медленным (коэффициент диффузии имеет величину порядка  $10^{-5} \text{ см}^2 \text{ сек}^{-1}$ ) и слабо зависит от таких факторов, как температура и состав. Следовательно, интенсивность перемешивания металла в ванне обусловлена главным образом наличием конвективных потоков, представляющих собой турбулентные пульсации различных масштабов.

При вводе изотопа на подину печи в любую точку ванны через весьма короткий промежуток времени (менее одной минуты) наблюдается появление радиоактивности в поверхностных слоях металла, что может быть результатом барботаж ванн газowymi пузырями. При вводе индикатора на дно ванны в крайнее окно распространение его происходит со скоростями, значительно превосходящими скорость движения фронта молекулярной диффузии, что свидетельствует о наличии конвективных турбулентных потоков. При введении индикатора в среднее окно имеет место перенос максимума радиоактивности из среднего окна в крайнее. Следствием этого является независимость времени перемешивания от места ввода индикатора. На рис. 3 приведены кривые, характеризующие фактическое распространение индикатора при введении его в среднее окно. Через весьма короткое время после ввода индикатора он распространяется так, как если бы был введен в крайнее окно. Это явление наблюдалось на всех опытных плавках. На этом основании можно предположить, что перенос максимума радиоактивности из средней части печи к краям является результатом наличия в ванне направленных конвекционных потоков.

Обнаруженные конвекционные потоки обладают значительными



- 8 -

скоростями. Проведено 5 опытных плавов с введением изотопов в период чистого кипения на дно ванны через второе, третье или четвертое окно с последующим отбором проб металла одновременно через все 5 окон печи через 2 и 5 минут. Зная время и расстояние, пройденное индикатором в печи, можно определить скорость потоков. По данным экспериментов, скорость конвекционных потоков в период чистого кипения достигает 4 м/мин.

Ни в одном из приведенных опытов не наблюдалось случаев переноса максимума активности из крайнего окна к середине печи. Это свидетельствует об отсутствии замкнутых конвекционных потоков и о рассеянии и превращении их в турбулентные пульсации благодаря трению об откосы и подину.

Специально поставленными опытами выяснено, что в поверхностных слоях металла существуют противоположно направленные конвекционные потоки. При кантовках газа через 7-8 минут в период чистого кипения не обнаружено влияния направления факела на интенсивность перемешивания металла. В период раскисления имеет место несколько иное распространение индикатора, чем в другие периоды плавки, особенно в первый момент после дачи ферросплавов. Движение металла в этом периоде носит явно хаотичный характер. Введение в ванну, температура которой приблизительно одинакова и составляет около  $1600^{\circ}$ , большого количества холодных ферросплавов вызывает конвекционные потоки, что приводит к интенсивному перемешиванию металла.

Для характеристики интенсивности турбулентного движения вводится эффективный коэффициент турбулентной диффузии. При определении его значения задача о распространении индикатора решалась при допущениях, что введенный индикатор представляет точечный источник диффузии, а ванна является прямоугольным параллелепипедом со сторонами а, в и с. Полученные при этих условиях значения эффективного коэффициента турбулентной диффузии для ряда опытных плавов приведены в табл. 1.

Таблица I

Среднее значение эффективных коэффициентов диффузии

Периоды плавки	D, см <sup>2</sup> сек <sup>-1</sup>		
	25-тонная печь	190-тонная печь	390-тонная печь
Дефосфорация	130	450	540
Наводка шлака	110	335	500
Чистое кипение	195	500	430
Раскисление	225	875	1140
Чистое кипение при искусствен- ном перемеши- вании	-	950	1110

г) Движение металла в сталеразливочных ковшах в процессе выпуска

При изучении процесса перемешивания металла в различные периоды плавки в 25- и 190-тонных основных мартеновских печах и 22-тонной кислой мартеновской печи было обнаружено, что выравнивание неоднородного металла достигается при выпуске его из печи. Во всех случаях, когда состав металла в печи был неравномерным, выравнивание достигалось в ковше. Более того, при выпуске сильно неоднородной по химическому составу стали из двухжелобных печей в два ковша металл в обоих ковшах имел одинаковый состав. Проведено 15 опытных плавов с введением изотопов в жидкий металл 390-тонной печи после раскисления плавки за 3-4 минуты до выпуска. Пробы металла отбирались перед самым выпуском плавки из печи одновременно из пяти окон, а также на разливке от обоих ковшей. В общей сложности, более чем на 70 плавках показано наличие перемешивания металла в процессе выпуска из одножелобных и двухжелобных печей. Результаты измерения радиоактивности проб металла отдельных плавов представлены в табл. 2.

2681-40

10

Таблица 2

## Значения радиоактивности проб металла

Наименование агрегатов	№ плавов	Марки стали	Тоннаж	Время ввода изотопа	Радиоактивность проб металла, имп/мин						
					перед выпуском					на разливке	
					1-е ОКНО	2-е ОКНО	3-е ОКНО	4-е ОКНО	5-е ОКНО	1-й КОВШ	2-й КОВШ
Основные мартеновские печи	18-0395	Валокочная	25	За 5 минут до выпуска	372	162	81	-	-	200-204	-
	4-0421	Рельсовая	390	За 6 минут до выпуска	96	314	441	390	239	334-354	332-352
Кислая мартеновская печь	19-0615	Легированный чугун	22	За 11 минут до выпуска	413	310	46	-	-	208-218	-
	4-1190	Рельсовая	390	За 4 минуты до выпуска	-	-	20	1437	0	493-504	507-516
Двухжелобная печь	4-1363	Ст. 45	390	За 3 минуты до выпуска	0	0	72	1523	1514	425-433	423-449

## - II -

Полученные данные о перемешивании и выравнивании состава неоднородного металла в процессе выпуска из двухжелобных печей, а также данные об одинаковых условиях перемешивания металла в различные периоды плавки в 190- и 390-тонных печах указывают на возможность выплавки легированных и качественных марок сталей в печах большого тоннажа.

## д) Растворение феррохрома в ванне

В 25-тонной основной мартеновской печи проведено четыре опыта. По данным настоящего исследования, среднеуглеродистый феррохром при весе кусков 10-20 кг растворяется в течение 5-10 минут, выравнивание состава по хрому в печи было достигнуто только в одном случае.

В 190-тонных печах проведено восемь опытных плавов. Время растворения куска феррохрома весом 13-20 кг составляло 9-11 минут, в одном случае - 18 минут (вес куска 20 кг). Во всех опытах в момент выпуска в металлической ванне наблюдалось неравномерное распределение хрома.

Так как при выпуске из печи всегда состав металла выравнивается, то время выдержки после присадки феррохрома можно сократить до времени растворения феррохрома. Учитывая время схода металла по жолобу (5-10 минут в 190-тонных печах и 2-4 минуты в 25-тонной печи), выдержка металла в печи с феррохромом может быть сокращена до 10-15 минут вместо существующей по инструкции 30-35 минут. Установлено также, что куски феррохрома весом до 10 кг растворяются в 190-тонных печах в течение 5-6 минут, в 25-тонной в течение 2-4 минут. Исходя из этих данных, продолжительность выдержки при легировании стали феррохромом может быть сокращена до 2-5 минут. Последнее обстоятельство имеет существенное значение при корректировке плавки по хрому перед выпуском.

С выдержкой металла в печи с феррохромом в течение 10-15 минут выплавлено 70 опытных плавов; отдельные плавки выдерживались 20 минут. Опытные плавки проведены в 190-тонных печах при выплавке стали с содержанием хрома до 1,5%. Две плавки стали проведены в 25-тонной печи. Все опытные плавки имели равномерное распределение хрома и удовлетворительные механические свойства.

2688-40

- 12 -

### е) Перемешивание металла при раскислении и легировании в ковшах

Опыты проводились в 25- и 190-тонных сталеразливочных ковшах при выпуске углеродистых и легированных кремнием или хромом сталей. Изучение перемешивания малокремнистых сталей в ковше проведено на 5 плавках. При выпуске двух плавков индикатор введен после заполнения 25-тонного ковша на половину. В обоих случаях достигнуто выравнивание состава металла. В одном из опытов индикатор введен в 25-тонный ковш после заполнения его металлом. К моменту разливки было также достигнуто выравнивание состава металла. Подобные результаты получены и при выпуске металла в 190-тонный ковш.

При выпуске стали с повышенным содержанием кремния, когда в ковш дается большое количество ферросилиция, выравнивание состава в ковше достигается не всегда. Для изучения данного вопроса выплавлены 4 опытные плавки стали Э-2 и Э-3. В одной из плавок стали Э-2 пробы, отобранные от разных слитков, имели одинаковое содержание кремния. В другой плавке стали Э-2 имели место значительные колебания интенсивности излучения проб различных слитков от 300 до 900 имп/мин. Расхождение в содержании кремния в этих пробах составляло 0,5%. Подобные результаты наблюдались и при выплавке стали марки Э-3.

Для изучения растворения и распределения ферромарганца в 190-тонных сталеразливочных ковшах проведено 7 опытов. Из данных опытов следует, что при раскислении стали в ковше ферромарганцем в большинстве случаев марганец практически распределяется равномерно. Максимальные отклонения радиоактивности проб от среднего значения являются допустимыми и не превышают 15,5%, что при содержании марганца в металле 0,40-0,55%, для стали 3 составляет не более 0,035-0,075% марганца. Такое отклонение укладывается в допустимые пределы по химическому анализу.

Для изучения растворения и распределения феррохрома в ковшах проведено 18 опытов. В 14 из них имело место полное выравнивание состава. Отклонения от среднего составляли 2-9%, что находится в пределах колебания содержания хрома в стали. Однако в отдельных плавках отклонения от среднего анализа были выше допустимых.

- 13 -

## ж) Движение металла в кислой мартеновской печи

В кислой мартеновской печи проведено 7 опытов с введением изотопа в различное время доводки плавки (от расплавления до выпуска). В результате установлено, что чугун в ванне перемешивается лишь через 45-50 минут. Следовательно, за это время может наступить равномерное распределение в металле вводимых ферросплавов. Из-за слабого перемешивания ванны добавки ферросплавов не успевают равномерно распределиться в течение выдержки, установленной по инструкции. Отобранные по ходу плавки пробы не соответствуют заданному составу металла. Корректировка плавки по случайным пробам может привести к браку валков по химическому составу.

2681-40  
Применение искусственного перемешивания позволило значительно ускорить процесс выравнивания состава металла. По изучению движения металла при искусственном перемешивании шомполами проведено 3 опыта. Установлено, что выравнивание состава металла в кислой печи наступает после четырехминутного перемешивания ванны шомполами одновременно через три окна. При искусственном перемешивании ванны специальной мешалкой проведено 5 опытов. Данные измерения радиоактивности проб, отобранных через все окна печи, показали, что для получения однородного состава необходимо перемешивать металл мешалкой в течение 1,5-2 минут. Применение мешалки создает необходимые условия для быстрого перемешивания и равномерного распределения легирующих добавок при минимальной выдержке, что должно устранить брак плавки по химическому анализу вследствие слабого перемешивания металла.

## 3. Выводы

1. Методом радиоактивных индикаторов исследованы процессы перемешивания жидкого металла в мартеновских печах и в сталеразливочных ковшах, а также процессы растворения легирующих добавок. Установлено, что в жидкой сталеплавильной ванне имеет место интенсивное турбулентное движение металла. Это движение можно характеризовать эффективными коэффициентами турбулентной диффузии, величина которых в условиях проведенных опытов имеет  $10^2-10^3$  см<sup>2</sup>сек<sup>-1</sup>. Обнаружены направленные конвекционные потоки, скорость которых в период чистого кипения колеблется в пределах 1-4 м/мин.

2. Установлено, что в период чистого кипения выравнивание состава металла в ванне достигается для 25-тонной основной марте-

- 14 -

новской печи через 10-15 минут, для 190-тонной - через 20-45 минут и для 390-тонной - через 30-45 минут. Во втором периоде чистого кипения время, необходимое для достижения однородности металла по составу, несколько уменьшается. Определена оптимальная продолжительность периода чистого кипения плавок различных марок сталей. В период дефосфорации перемешивание металла и выравнивание его состава в 190-и 390-тонных печах достигается в течение 30-35 минут. В период наводки шлака перемешивание металла слабое и выравнивание состава не достигается. Данные о перемешивании металла в период раскисления, полученные в 25-, 190- и 390-тонных основных мартеновских печах, свидетельствуют о наличии достаточно интенсивного движения во внешне спокойной ванне. При выплавке хромистых марок сталей выравнивание состава в период раскисления не достигается. При выплавке рядовых и рельсовых марок сталей минимальное время, необходимое для равномерного распределения индикатора в период раскисления, в больших мартеновских печах составляет 10-20 минут. Выявлено ускорение движения металла и сокращение времени выравнивания состава ванны при искусственном перемешивании металла в основных и кислой мартеновских печах.

3. Установлено, что в процессе выпуска металла из одножелобных основных 25-и 190-тонных мартеновских печей и 22-тонной кислой печи происходит полное перемешивание его. При выпуске весьма неоднородной по химическому составу стали из двухжелобных печей в два ковша также происходит полное перемешивание металла. Поэтому при легировании стали феррохромом рекомендована выдержка металла в 25-, 190- и 390-тонных печей в течение 10-15 минут. Получены данные о скорости перемешивания металла в сталеразливочных ковшах в процессе раскисления и легирования ферросплавами.

4. На основании проведенного исследования продолжительность чистого кипения рельсовых марок сталей сокращена на 20 минут, выдержка металла с феррохромом в печах различной емкости при выплавке хромистых сталей с содержанием хрома до 1,5% сокращена на 15 минут. При выплавке легированного чугуна в кислой 22-тонной печи применено искусственное перемешивание. Данные исследования позволили перейти к выплавке хромистых марок сталей в двухжелобных печах емкостью 390 т. Экономический эффект внедрения результатов данного исследования только по Кузнецкому металлургическому комбинату определяется увеличением выплавки металла на 75 т и экономией денежных средств в размере 1 млн.руб. в год.

-I5-

2681-40

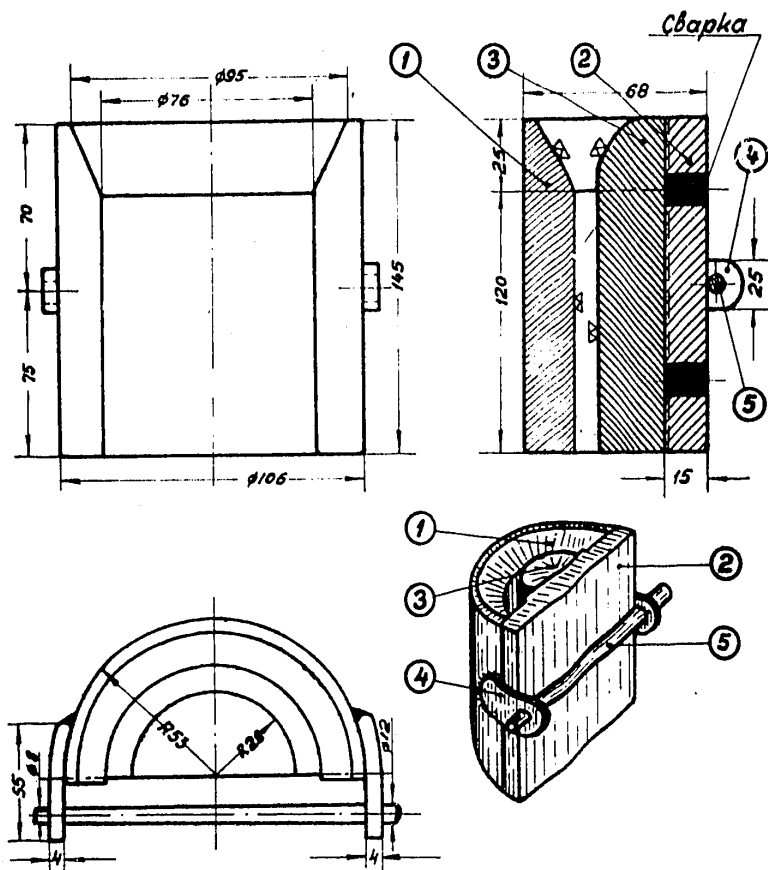


Рис.1. Чертеж изложницы для отбора проб металла:  
1 - корпус; 2 - крышка; 3 - стержень; 4 - ушки;  
5 - шпилька



-16-

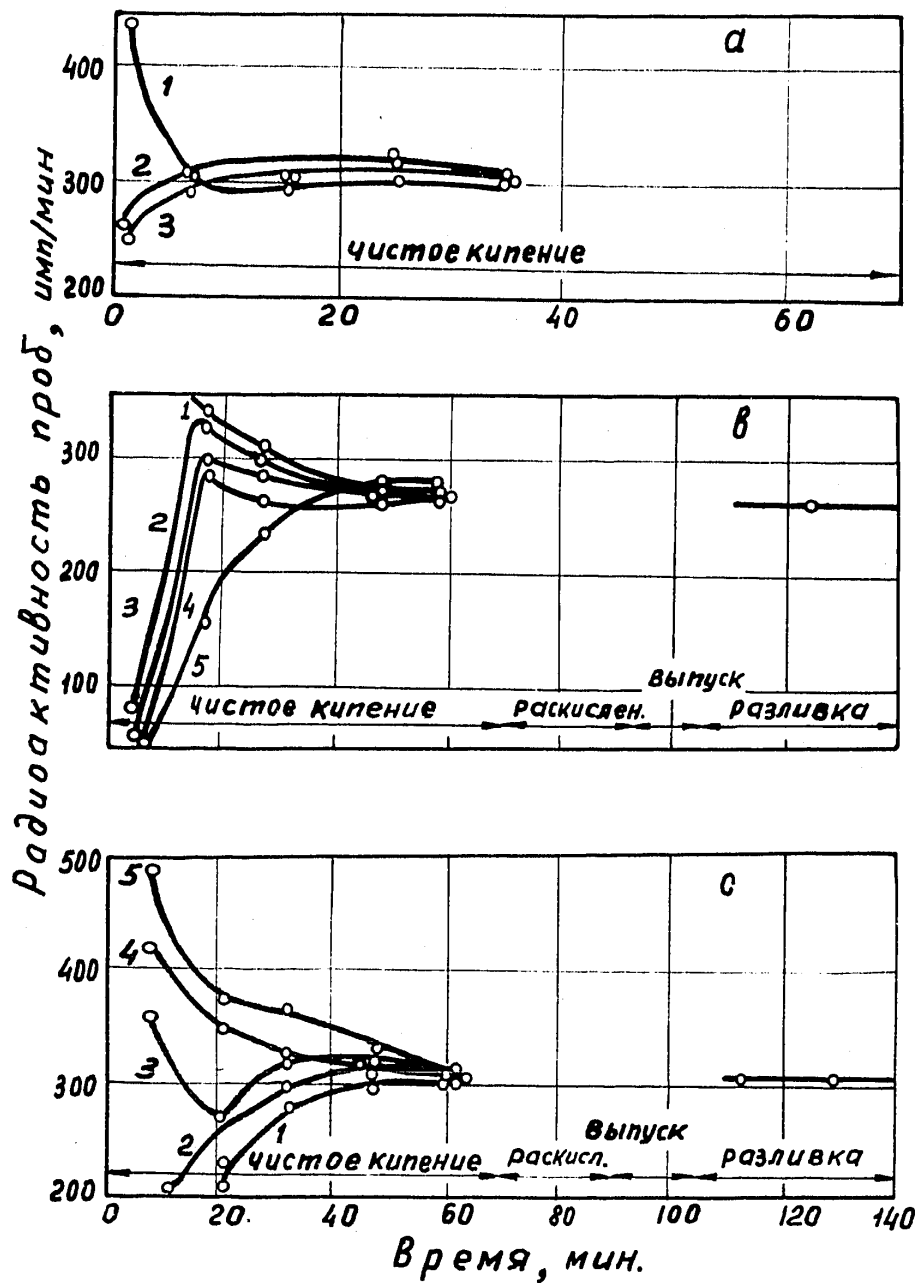


Рис. 2. Кривые распределения радиоактивного изотопа в ванне мартеновских печей:  
 а - 25-тонная; в - 190-тонная; с - 370-тонная; 1; 2, 3, 4, 5 - номера окон

-17-

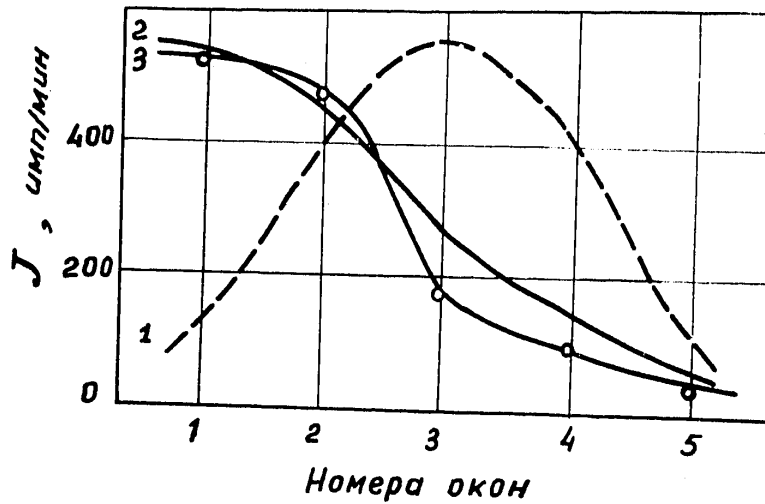


Рис. 3. Кривые распределения радиоактивности в жидкой ванне:  
 1 - изотоп вводится через третье окно (теоретическая кривая); 2 - изотоп вводится через пятое окно (теоретическая кривая); 3 - изотоп вводится через среднее окно (опытная плавка 1-8695)